

УДК 669.295/620.172

**М. С. Калиенко^{1,2*}, А. В. Волков¹, А. В. Желнина¹, М. О. Ледер¹,
П. Е. Панфилов²**

¹ Корпорация ВСМПО-АВИСМА, г. Верхняя Салда

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

**kamak85@rambler.ru*

СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОКИСЛЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ VT18U И VT20

В представленной работе исследованы титановые сплавы VT18U и VT20 после изотермического отжига на воздухе при температуре 625 °С в течение 1000 часов. Проведена оценка газонасыщенного слоя и толщины оксида на поверхности сплавов после отжига методами оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа. Установлено, что после отжига концентрация кислорода в газонасыщенном слое исследованных сплавов отличается, что связано с различием в механизмах окисления сплавов.

Ключевые слова: титановые сплавы, окисление, диффузия

M. S. Kalienko, A. V. Volkov, A. V. Zhelnina, M. O. Leder, P. E. Panfilov

COMPARISON OF OXIDATION MECHANISMS OF TITANIUM ALLOYS VT18U AND VT20

In the present work, VT18U and VT20 titanium alloys are studied after isothermal annealing at a temperature of 625 °C for 1000 hours in an air. The gas-saturated layer and thickness of the oxide on surface of the alloys after annealing by optical and electron microscopy were estimated, the oxygen concentration was evaluated by XRD analysis. It was established that oxygen concentration in the gas-saturated layer of the studied alloys is different due to varied in the oxidation behavior of the alloys.

Key words: Ti alloy, oxidation, diffusion

При повышенной температуре титановые сплавы активно взаимодействуют с кислородом, образуется оксидный слой на по-

верхности и газонасыщенный приповерхностный слой. Таким образом есть два основных механизма окисления — кислород образует с титаном новую фазу TiO_2 , и происходит диффузия кислорода вглубь металла. Результатом этих двух процессов является привес массы при окислении. Химический состав титановых сплавов определяет протекание данных физических процессов [1]. Целью настоящей работы являлось получение новых экспериментальных данных о механизмах окисления титановых сплавов ВТ18У и ВТ20.

В работе исследовали листы из титановых сплавов ВТ18У и ВТ20 производства ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». Для исследования использовали вырезанные на электроискровом станке образцы размером 20×20 мм, по 2 для сплава. Образцы были шлифованы на наждачной бумаге со снятием острых кромок, обезжирены бензином и вымыты в этиловом спирте в ультразвуковой ванне. Изотермический отжиг образцов от листов проводили при температуре 625°C в течение 1000 ч. Термическую обработку (т/о) осуществляли в электрической лабораторной печи объемом $0,5 \text{ м}^3$ с вентилятором для перемешивания воздуха и точностью поддержания температуры 5°C . Для расчета прироста массы после т/о использовали весы METTLER TOLEDO, с точностью $0,0001$ г. Электронно-микроскопические исследования проводили на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Quanta 3D FEG. Для рентгеноструктурного анализа образцов (РСА) использовали дифрактометр Bruker D8 Advance, параметры кристаллической решетки уточняли в программе TOPAS 3 методом полно-профильного анализа.

Газонасыщенный слой на окисленных образцах сплавов после отжига представлен на рис., этот слой имеет более яркий контраст на снимках. Слой оксида сформировавшегося на поверхности сплава ВТ20 в результате отжига, существенно больше, чем на сплаве ВТ18У, соответственно, 1771 и 941 нм. По данным качественного РСА оксид на поверхности сплавов представлен фазой рутила TiO_2 .

Используя полученные данные о приросте массы образцов, толщине слоя оксида на образцах, приняв одинаковой плотность оксидов и равной плотности TiO_2 был рассчитан вклад в прирост массы от оксида, который составил 40 и 23 % соответственно для ВТ20 и ВТ18У. Соотношение c/a параметров кристаллической решетки сплавов вблизи границы оксид/металл у сплава ВТ20 существенно меньше, чем у ВТ18У, что свидетельствует о меньшей концентрации кислорода в металле [2].

Таблица

Глубина газонасыщенного слоя, толщина оксида, вклад оксида в Δm и отношение параметров с/а кристаллической решетки сплавов вблизи границы металл/оксид после отжига $625^{\circ}\text{C} - 1000\text{ ч}$

Сплав	Толщина оксида, нм. (РЭМ)	Вклад оксида в прирост m , %	с/а
BT20	1771	40	1,607
BT18У	941	23	1,609

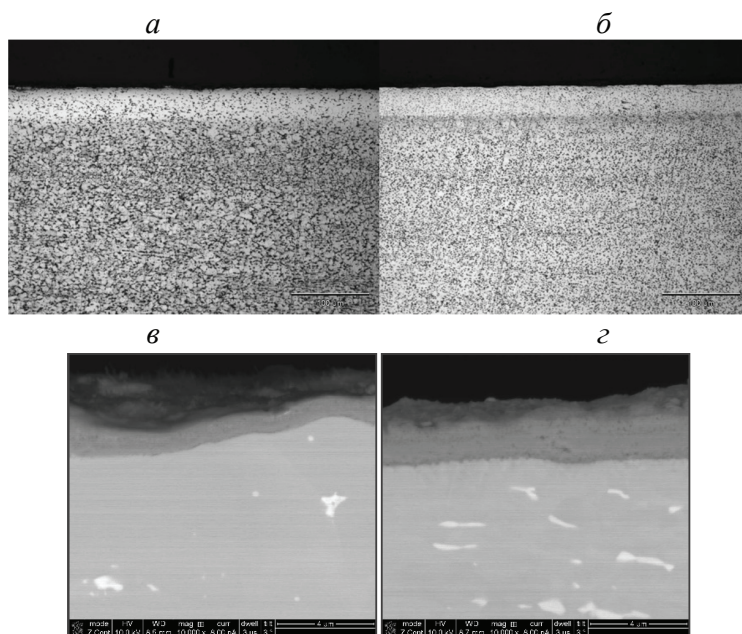


Рис. Газонасыщенный слой и оксид на поверхности образцов после отжига $625^{\circ}\text{C} - 1000\text{ ч}$ — воздух:

$a, в$ — BT18У; $б, г$ — BT20

Таким образом, полученные данные демонстрируют существенное отличие механизмов окисления рассмотренных сплавов. Наблюдаемое отличие в содержании кислорода в газонасыщенном слое потенциально влияет на механические свойства сплавов в окисленном состоянии [3].

Литература

1. Cabrera N., Mott N. F. Theory of the oxidation of metals // Reports on progress in physics. 1949. V. 12, № 1. P. 163–184.
2. Finlay W. L., Snyder J. Effects of three interstitial solutes (nitrogen, oxygen, and carbon) on the mechanical properties of high-purity, alpha titanium // JOM. 1950. V. 2, № 2. P. 277–286.
3. Влияние параметров кристаллической решетки поверхностного газонасыщенного слоя на пластичность титановых сплавов при испытании на растяжение / М. С. Калиенко [и др.] // МиТОМ. 2019. № 8. С. 30–34.